



Les surfaces en eau du Lac Tchad : un suivi par télédétection

Olojoba E. AFRICA,
spécialiste en télédétection, CBLT.
Jacques LEMOALLE,
hydrogéologue, ORSTOM.

De Zborowski Isolde, Africa Olojoba E., Lemoalle Jacques. 1996. Les surfaces en eau du Lac Tchad : un suivi par télédétection. In : Atlas d'élevage du bassin du Lac Tchad = Livestock atlas of the Lake Chad basin. De Zborowski Isolde. CIRAD-EMVT-Service Infographie-Cartographie (FRA). Wageningen : CTA, 33-35. ISBN 2-87614-248-1

Introduction

Du fait des variations de niveau observées (voir Chapitre XXX), et de sa faible profondeur, les fluctuations de la surface du Lac Tchad sont importantes et rapides. Les données fournies par les satellites d'observation de la terre sont donc particulièrement utiles pour suivre ces fluctuations. D'une part elles sont répétitives, ce qui permet de suivre des évolutions rapides, d'autre part elles couvrent un champ assez large, ce qui permet d'obtenir des images synoptiques de grandes surfaces. Cette possibilité offerte par les satellites a été largement utilisée par un certain nombre d'auteurs, frappés par les aspects différents du Lac suivant les époques (SCHNEIDER *et al.*, 1985 ; MOHLER *et al.*, 1988 ; RIGAL 1989 ; WALD 1990). Il convient cependant d'interpréter convenablement les données radiométriques pour définir les limites entre zone inondée et terrain exondé, et de se resituer dans le cycle hydrologique du Lac pour interpréter les variations de surface.

Nous présentons ci-dessous un certain nombre de résultats obtenus à l'aide de données de divers satellites.

Le passage à l'état Petit Tchad (1973-1975)

Les données du canal 7 (800-1 100 nm) du scanner multispectral des satellites Landsat 1 et 2 ont été utilisées. La couverture du Lac nécessite trois images sur deux orbites successives, présentées ici (fig. 1) pour trois périodes caractéristiques (LEMOALLE, 1978).

L'eau absorbe le proche infrarouge de façon très efficace, et il suffit d'une mince couche d'eau pour que la luminance en canal 7 soit faible

Introduction

Changes in the surface area of Lake Chad are massive and occur quickly because of variations in the observed levels (see chapter XXX) and its shallow depth. Data from earth observation satellites are especially useful for monitoring these changes. They are repetitive, thus allowing the rapid changes to be followed, and facilitate a synoptic view of a wide area. The opportunity that satellites provide for this kind of study has been taken advantage of by several authors (SCHNEIDER *et al.*, 1985; MOHLER *et al.*, 1988; RIGAL, 1989; WALD, 1990). It is useful, however, to use radiometry data to define the boundary between the flooded and non-flooded areas and to situate oneself in the lake's hydrological cycle in order to interpret the variations in surface area.

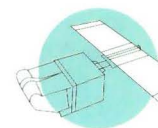
This study presents results of data taken from several satellites.

Change to "Little Chad", 1973-1975

Data from Channel 7 (800-1100 nm) of the multispectral scanner of LANDSAT 1 and LANDSAT 2 were used. Coverage of the lake requires three images from two successive orbits. These are shown (figure 1) for three typical periods (LEMOALLE, 1978).

Water absorbs near infrared radiation very effectively and it need only be a very shallow depth in order for the reflection of Channel 7 to be very faint in relation to other landscape elements. It is sometimes difficult, however, to separate very muddy water from silty or waterlogged soil. Radiometry data from monthly low altitude flights was used to adjust parts of the boundary as a function of solar reflection in the

Remote sensing of the water area of Lake Chad



par rapport aux autres éléments du paysage. Cependant, il est parfois délicat de dissocier une surface d'eau très turbide d'une vase ou d'un sol imprégné d'eau. Ici, la coupure radiométrique a été effectuée par ajustement avec des portions de ligne de rivage observées par réflexion spéculaire du soleil dans l'eau lors de survols mensuels par avion à basse altitude (CHOURET et LEMOALLE, 1975). Dans le cas du Lac Tchad, la ligne de rivage est extrêmement développée du fait du nombre d'îles (environ 2 000) : une faible erreur sur la détermination du rivage se traduit donc par une incertitude importante sur les surfaces.

Par comparaison avec la situation de janvier 1973 (Chapitre XXX), où la surface totale en eau était de 14 690 kilomètres carrés, la surface en mars 1973 est de 13 270 kilomètres carrés (fig. 1A). La différence est due à l'exondation de nombreux sommets dunaires dans la cuvette nord, et de deux zones de hauts-fonds entre les eaux libres de la cuvette sud et l'archipel de Bol, d'une part, et dans la région de la Grande Barrière entre cuvettes sud et nord, d'autre part. La coupure entre les deux cuvettes a été réalisée en avril 1973.

Il n'y a pas eu de données Landsat en 1974.

Le niveau de la cuvette nord a baissé de façon quasi continue jusqu'en juin 1975, où seules subsistent quelques mares (fig. 1B) qui seront asséchées en octobre. Les surfaces en eau indiquées pour cette cuvette, où la végétation ne s'est pas encore développée, correspondent ici à la totalité des surfaces en eau. Il n'en est pas de même pour la cuvette sud, où une intense végétation marécageuse s'est développée sur tous les sédiments exondés en mars ou en juin 1973. Seules les surfaces en eau libre apparaissent sur la figure. La végétation cache une grande partie des surfaces réellement inondées, sans que l'on puisse définir précisément leurs limites.

Cet effet de la végétation est bien marqué sur la mosaïque des trois

water (CHOURET and LEMOALLE, 1975). Lake Chad's boundary is extremely long because of its large complement of approximately 2000 islands and minor errors in determining the boundary can thus result in large errors in estimates of the lake area.

The total area in January 1973 (Chapter XXX) was 14 690 km² but this had been reduced to 13 270 km² by March of the same year (figure 1A). The difference relates to the emergence of numerous sandy islets in the northern basin and of higher areas between the open water of the southern basin and the Bol archipelago and another higher area of the Grande Barrière between the northern and southern basins. Total separation of the two basins took place in April 1973.

There were no LANDSAT data in 1974.

The level of the northern basin declined almost continuously up to June 1975, by which time only a few pools remained (figure 1B). The water area shown for this basin, where there was as yet no vegetation, corresponds to the total area. This is not the case for the southern basin where a dense marshy vegetation had developed on all the areas that had been above the water level since March or June 1973. Only open water is shown in the figure but the vegetation cover hides much of the area actually under water which it was not possible to identify with any precision.

The vegetation effect is very marked on the mosaic of the three LANDSAT images of 6-7 January 1976 when the lake was flooded (figure 1C). The water rose to its former shore level in the southern basin and covered the low dense and marshy vegetation. It then covered an area greater than that of January 1973 but again only open water is visible on the satellite imagery. Water crossed the Grande Barrière and flooded a large part of the northern basin. Areas of open water are well marked there also but there is more difficulty in estimating the area

Figure 1A : Mosaïques Landsat des surfaces en eaux libres du Lac Tchad. En mars 1973, juste avant l'exondation complète de la Grande Barrière. En comparant avec l'image de janvier 1973 (chapitre XXX), on notera la multiplication des îles dans la cuvette nord, et l'exondation des hauts-fonds entre les eaux libres du sud et l'archipel de Bol. Dans cette image, les zones en noir correspondent à toute la zone inondée.

Figure 1A : LANDSAT mosaics of open water areas of Lake Chad. March 1973 just before the complete drying out of the Grande Barrière (there are many more islets in the northern basin compared to January 1993 (chapter XXX) and there are dry areas between the open water and the Bol archipelago in the southern basin). Black areas on this image correspond to the whole flooded area.

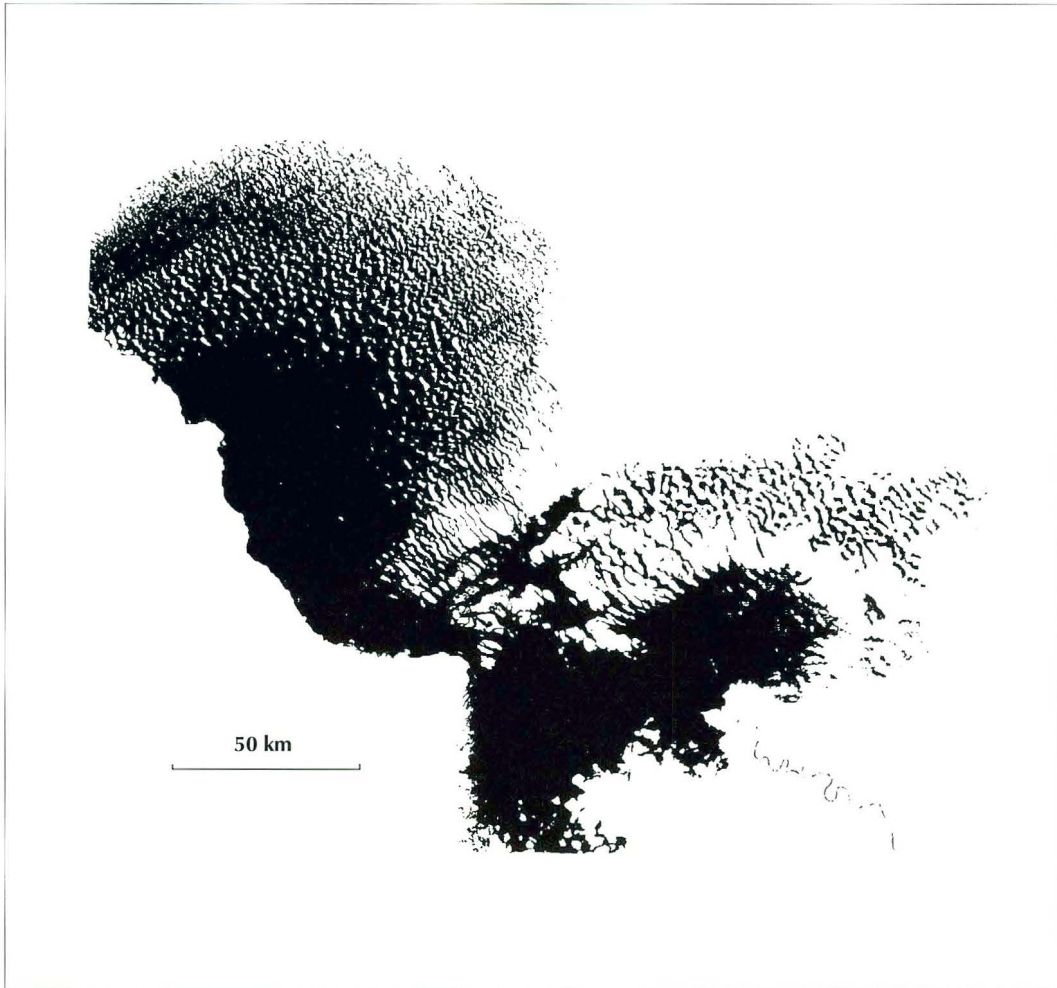


Figure 1B : Mosaiques Landsat des surfaces en eaux libres du Lac Tchad. En juin 1975. Les deux cuvettes sont séparées. La cuvette nord est en fin d'assèchement et la zone en noir représente toute la surface en eau. Dans la cuvette sud, la végétation marécageuse a recouvert toutes les surfaces exondées en 1973, et seules les eaux libres figurent en noir.

Figure 1B : LANDSAT mosaics of open water areas of Lake Chad. June 1975 showing complete separation of the two basins. The northern basin is almost completely dried out and the black area corresponds to the whole flooded area. In the southern basin marshy vegetation has covered all the areas that were not under water in 1973 and only open water is represented by the black area.

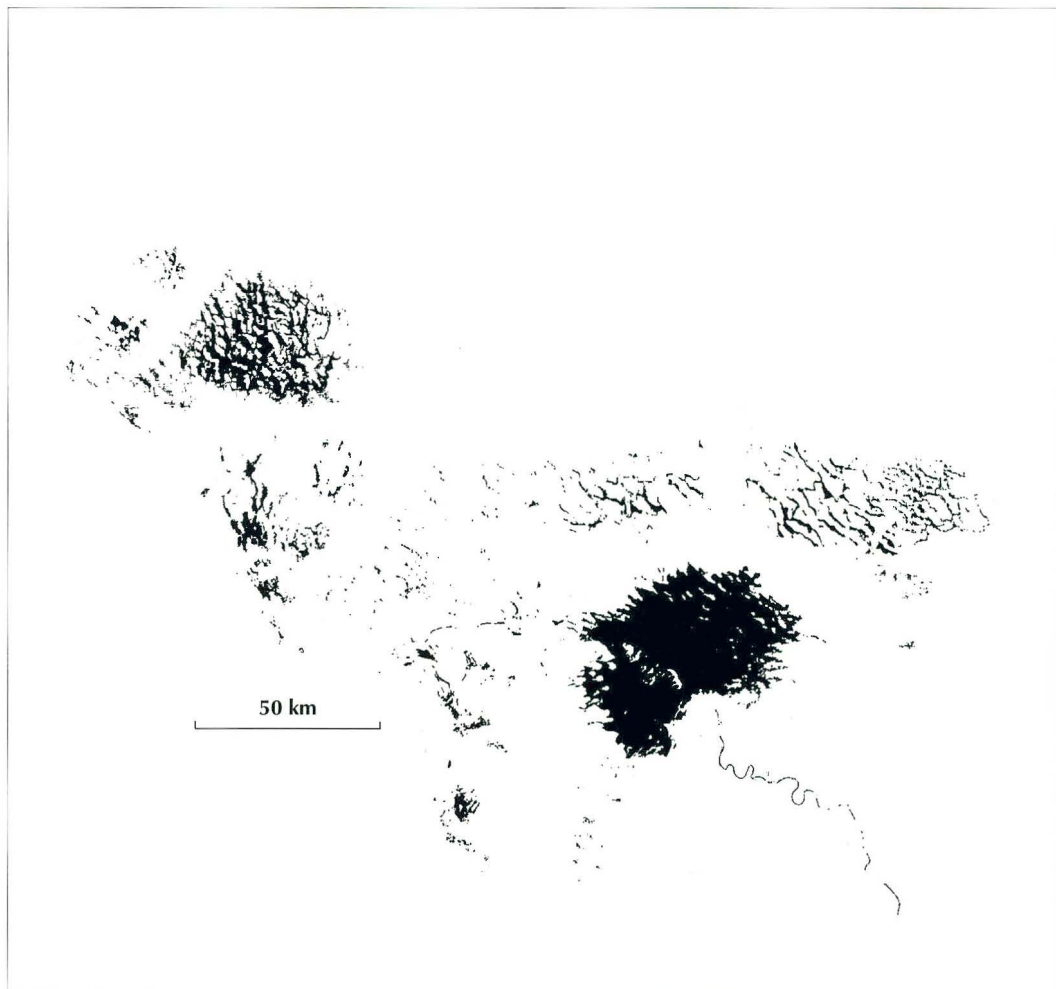
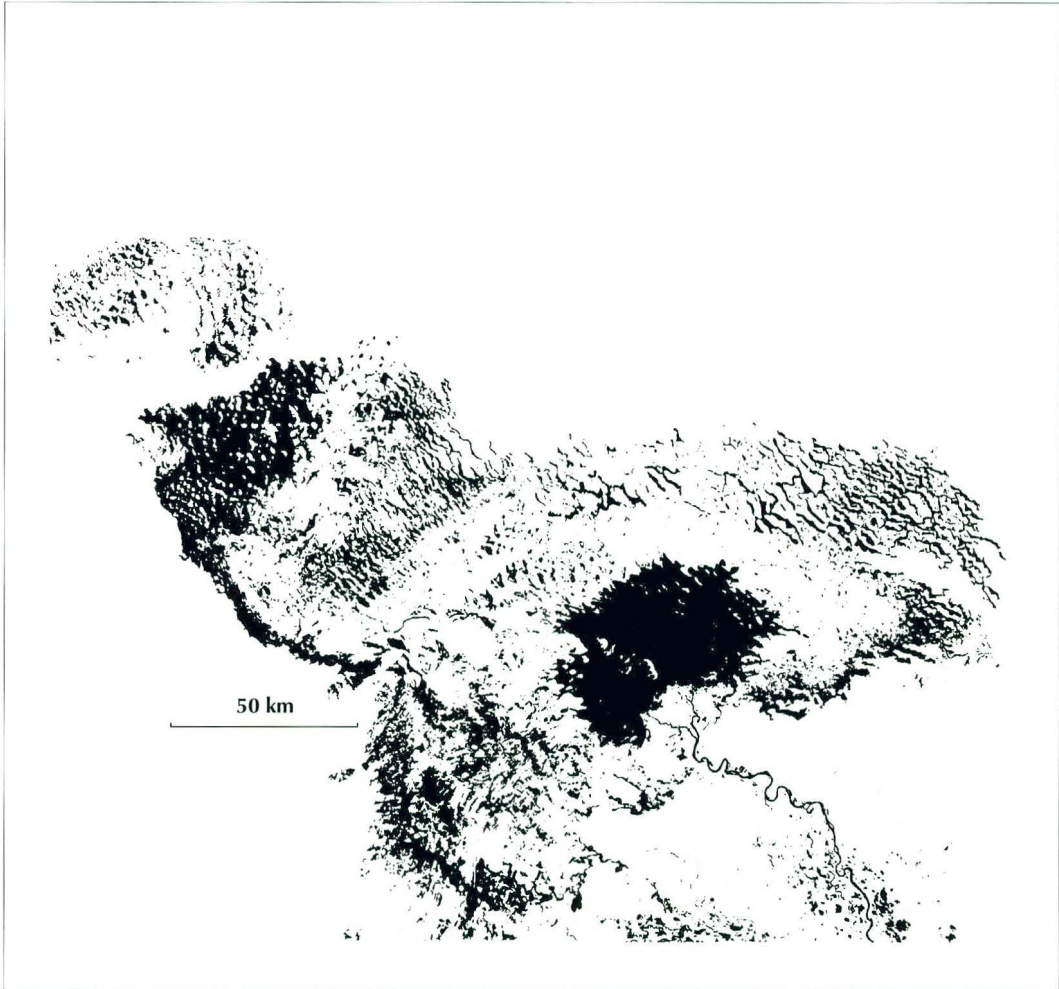


Figure 1C : Mosaïques Landsat des surfaces en eaux libres du Lac Tchad, en janvier 1976. Avec le pic de crue lacustre dans la cuvette sud, l'eau rejoint son rivage de 1972 en passant à travers les marécages. Dans la cuvette nord, le front de l'inondation a dépassé l'estuaire de la rivière Yobé, tandis que les infiltrations à travers les marécages inondent les points les plus bas de l'extrémité septentrionale de la cuvette.

Figure 1C : LANDSAT mosaics of open water areas of Lake Chad. January 1976. At peak flood in the southern basin the water has reached the 1972 shoreline by infiltrating through the marshy areas. In the northern basin the flood has passed the level of the Yobé river estuary and has infiltrated the lowest areas at the extreme northern end.





images Landsat des 6 et 7 janvier 1976, lors de la crue lacustre (fig. 1C). Dans la cuvette sud, l'eau a regagné son ancien rivage, à végétation basse, en passant à travers les marécages à végétation dense. Elle occupe dans cette cuvette une surface supérieure à celle de janvier 1973, mais seule la partie en eau libre est perceptible par le satellite. L'eau a traversé la Grande Barrière et a inondé une grande partie de la cuvette nord. Là encore, les surfaces en eau libre sont bien délimitées, mais il est plus difficile d'estimer les surfaces de marécages inondés. Il semble que l'eau a recouvert la végétation dans la partie centrale de la cuvette, jusqu'à la latitude de l'estuaire de la rivière Yobé, et qu'elle a percolé à travers la végétation jusqu'au nord du Lac.

L'évolution des surfaces en eau au cours de la baisse de niveau du Lac, depuis septembre 1972 jusqu'à juin 1973 pour la cuvette sud et jusqu'à octobre 1975 pour la cuvette nord, a été suivie grâce à dix-huit scènes Landsat. Les résultats ont été reportés en fonction du niveau relevé à Bol pour la cuvette sud et à Kindjéria pour la cuvette nord (données Hydrologie-Orstom). Nous avons ainsi obtenu une courbe bathymétrique du lac pour cette époque (fig. 2). Pour la période actuelle, cette

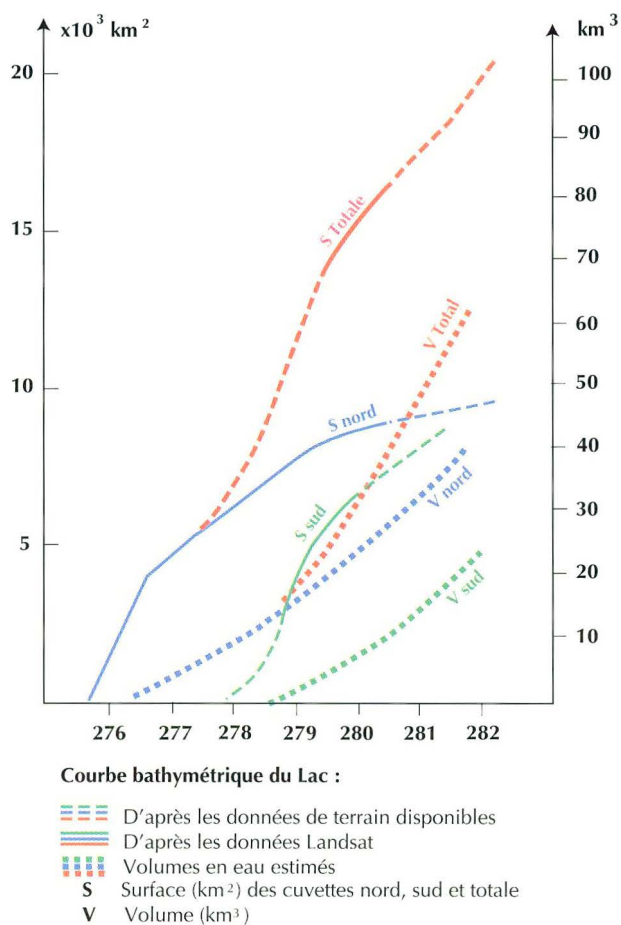


Figure 2 : Courbes bathymétriques en fonction de l'altitude du niveau du lac. En tireté d'après les données de terrain et cartographies aériennes, en trait plein d'après les résultats d'analyse des données Landsat. En pointillé les volumes en eau correspondants. S = surface (km²) des cuvettes nord, sud et totale. V = volume (km³) (d'après LEMOALLE, 1978).

Figure 2 : Bathymetric curves of Lake Chad in relation to water levels (dashed line from ground data and aerial mapping; full line from LANDSAT data; dotted lines represent respective water volumes: S = surface area in km² of northern and southern basins and of whole lake; V = volume in km³) (adapted from LEMOALLE, 1978).

courbe serait à réviser du fait de la rétraction de dessiccation qui s'est produite lors de l'assèchement. Le phénomène n'étant que partiellement réversible, il est possible que les fonds soumis à l'assèchement soient plus bas qu'ils ne l'étaient en 1973-1975.

La cuvette sud en période de Petit Tchad (1975-1995)

Les figures 1B et 1C montrent que le contour de la grande zone d'eaux libres de la cuvette sud n'a pas changé entre l'étiage de juin 1975 et le maximum de crue de janvier 1976. Entre ces deux dates, le niveau de l'eau avait augmenté de 1,9 mètre.

Une comparaison avec le contour de la partie est de cette zone relevé sur une image Spot d'octobre 1987 (fig. 3), ainsi que nos observations par survol aérien en 1994 confirment cette stabilité : la surface des eaux libres de la cuvette sud n'a pas sensiblement changé entre 1975 et 1994. Elle est de l'ordre de 1 750 kilomètres carrés. Ceci est dû à la stabilité de



Figure 3 : Le contour de la partie est des eaux libres du sud, relevé sur une image Spot d'octobre 1987. Le rivage n'a pas évolué de façon sensible depuis 1975.

Figure 3 : Contour of the eastern part of open water in the southern basin from a SPOT image of October 1987.



Photo 1 : La cuvette nord est presque complètement asséchée. Les pêcheurs ont creusé un chenal leur permettant de pousser les pirogues jusqu'au villages de la cote (J. LEMOALLE, juin 1975).

Photo 1 : The northern basin is almost completely dry. Fisherman have dug a canal to push their pirogues to the coastal villages (J. LEMOALLE, June 1975).

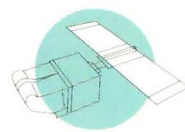
that is flooded under marshy vegetation. It seems that the water covered vegetation in the centre of the basin to the latitude of the Yobé river estuary and succeeded in percolating through the vegetation as far as the northern shore line.

Changes in the area of the lake under water during its decline from September 1972 to June 1973 for the southern basin and to October 1975 for the northern basin were monitored on 18 LANDSAT images. Results are presented as a function of the level at Bol for the southern basin and at Kindjéria for the northern basin (ORSTOM data). A bathymetric curve was obtained for this period (figure 2). This curve would need to be revised for the present time in view of the retreat of desicca-

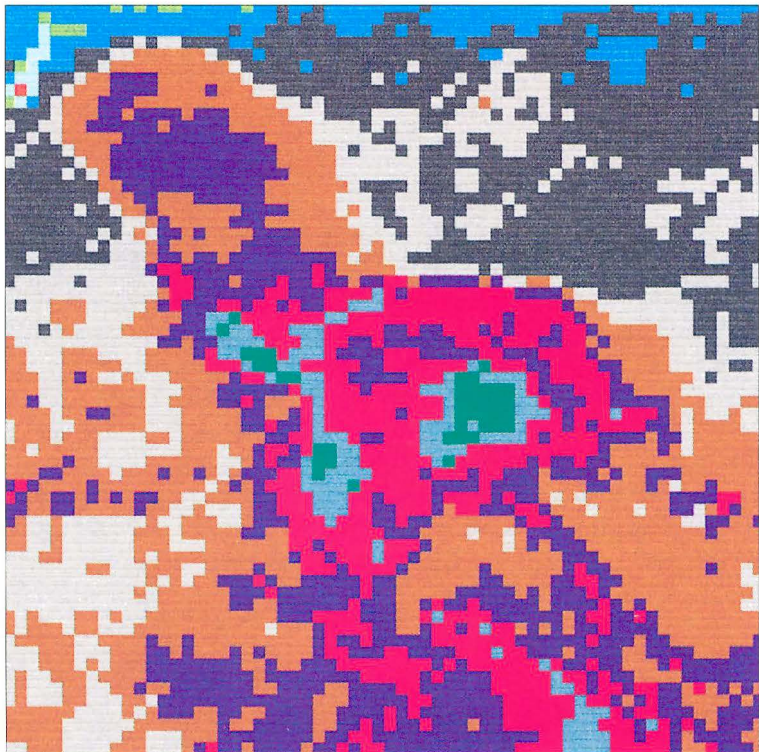
Tableau 1 : Superficie du Lac Tchad par mois (NOAA), 1990-1992.

Table 1 - Monthly variations as shown by NOAA satellite in the area of Lake Chad, 1990-1992.

Mois Month	Superficie Area (km²)		
	1990	1991	1992
Mai	1433	-	-
Juin	1419	1468	1507
Juillet	1405	1420	1241
Août	-	1680	1635
Septembre	-	1719	1691
Octobre	1608	1054	1496



Novembre 1988



Février 1989

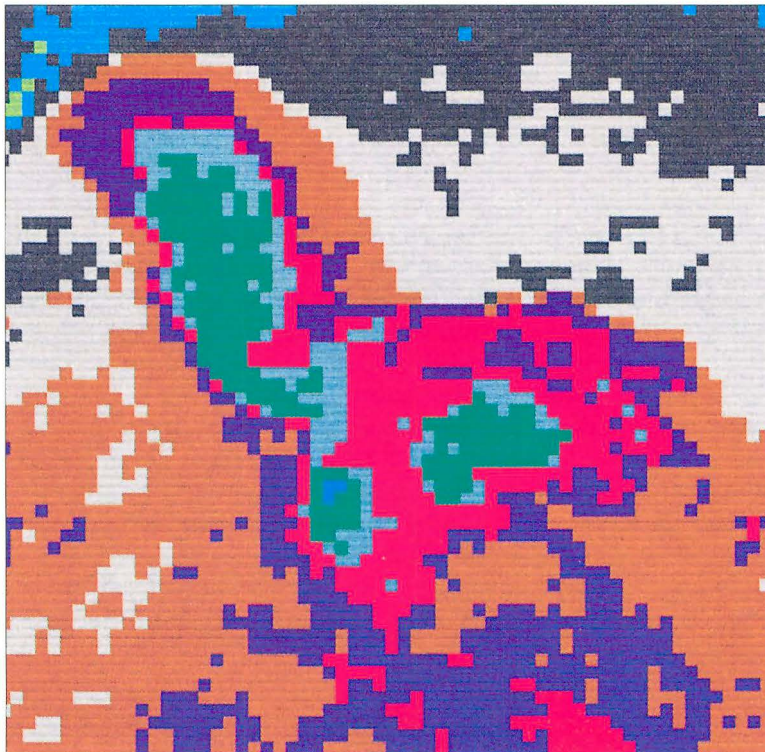


Figure 4 - Analyse de données Météosat en 1988-1989. L'eau libre est représentée en vert et en bleu très clair. Le 14 novembre 1988, on remarque la poche d'eau libre au sud de Baga Kawa, dans la cuvette sud, et un début de passage d'eau vers la cuvette nord. Le 5 février 1989, l'inondation de la cuvette nord a atteint son maximum d'extension.

Figure 4 : Analysis of METEOSAT data for 1988/1989 (open water is represented by green and very light blue areas; data for 14 November 1988 show a patch of open water to the south of Baga Kawa in the southern basin and the start of a flow towards the northern basin; water area in the northern basin reached its maximum extent on 5 February 1989).

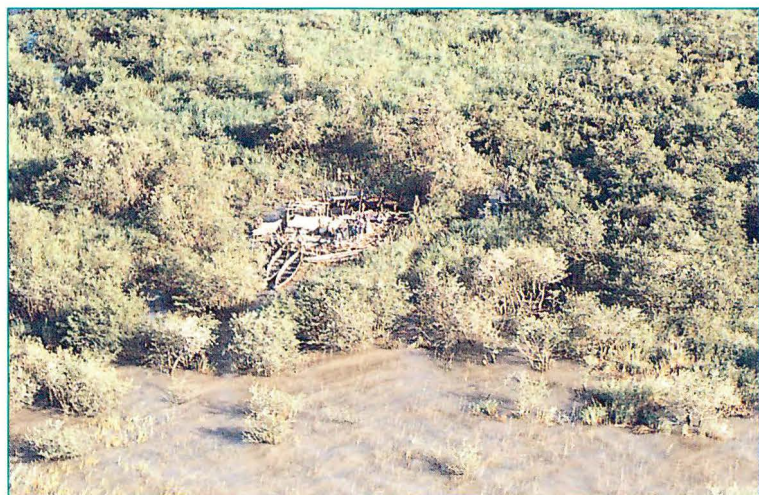


Photo 2 : Campement de pêche dans le marécage en bordure des eaux libres de la cuvette sud (J. LEMOALLE, décembre 1989).

Photo 2 : Fisherman camps established in the swampy area closed with open waters of the southern basin (J. LEMOALLE, December 1989).

la végétation qui s'est développée sur ces rives et qui masque les fluctuations saisonnières ou interannuelles de niveau et d'extension des zones réellement inondées.

En période de crue (décembre-janvier), l'eau peut cependant submerger suffisamment une partie de la végétation pour devenir perceptible par les capteurs satellitaires. C'est notamment le cas pour une zone au sud de Baga Kawa, et une autre entre Baga Kawa et Baga Sola (fig. 4 et 5. Voir aussi la figure XXX du chapitre XXX).

D'autres satellites que Landsat ou Spot peuvent être utilisés. Il s'agit notamment des satellites NOAA, équipés du radiomètre AVHRR, et des satellites Météosat. Bien que leurs résolutions spectrale et spatiale soient moins fines, elles sont cependant suffisantes pour le Lac Tchad. La fréquence élevée des données permet de suivre des évolutions rapides ou de calculer des moyennes pour des états plus stables.

C'est ainsi que la surface des eaux libres en période d'étiage a été suivie de 1981 à 1992 par l'utilisation de l'indice normalisé de végétation (NDVI), calculé avec les données des canaux C1 (580-680 nm) et C2 (720-1100 nm) du AVHRR de NOAA (AFRICA, 1994). Avec un seuil fixe de - 0,75 de l'indice pour distinguer l'eau du reste du paysage, les valeurs moyennes mensuelles obtenues donnent l'ordre de grandeur de la surface en eau, la variabilité résultant des variations d'éclairement et de turbidité de l'atmosphère (Tableau 1).

tion during the period of drying out. As this situation is only partly reversible it is possible that the areas that have dried out are now lower than they were in 1973-1975.

The southern basin during "Little Chad, 1975-1995

The contour of the main open water area of the southern basin did not change between the low water of June 1975 and the peak of the flood in January 1976. Between these two dates the water level rose by 1.9 m.

A comparison of the contour of the eastern part of this zone taken from a SPOT image of October 1987 (figure 3) and observations from a low level flight in 1994 confirm this stability. The open water of the southern basin remained essentially the same, at about 1750 km², between 1975 and 1994. This is due to the stability of the vegetation which developed along the banks and that masks seasonal or interannual variations in the real area of the lake under water.

During the flood period of December-January the water can, however, cover the vegetation to such an extent that it is discernible on the satellite imagery. This is especially so in an area to the south of Baga Kawa and another area between Baga Kawa and Baga Sola (figure 4, figure 5 and figure XXX of chapter XXX). Satellites other than LANDSAT and SPOT can also be used. In particular these are NOAA/AVHRR and METEOSAT. Spatial and spectral resolution are not so good as LANDSAT and SPOT but they are adequate for Lake Chad. The very high rates of passage providing data at frequent intervals allow rapid changes in area to be identified and the calculation of mean values for more stable states.

It was in this way that the area of open water at the lowest level of the lake was followed from 1981 to 1992 by the use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculated from Channel 1 (580-680 nm) and Channel 2 (720-1100 nm) of the Advanced Very High Resolution Radiometer of NOAA (AFRICA, 1994). With a unique index of -0.75 it is possible to separate water from all other landscape elements. The monthly values obtained provide data on the magnitude of the water area, variability resulting from changes in available light and the murkiness of the atmosphere (Table 1).



La cuvette nord en période de Petit Tchad (1976-1995)

Après son premier assèchement complet en octobre 1975, la cuvette nord du Lac a été épisodiquement alimentée par le déversement des eaux provenant de la cuvette sud à travers la Grande Barrière. Les apports directs par les pluies ou la Komadougou Yobé sont négligeables. L'inondation de la cuvette nord, quand elle a lieu, se produit donc en décembre et atteint son maximum d'extension en janvier.

Compte tenu des surfaces mises en jeu, et de la disponibilité des données (CITEAU *et al.*, 1988), les informations du canal visible de Météosat ont été utilisées pour suivre l'inondation de la cuvette nord. Chaque année, de 1978 à 1995 (avec interruption en 1980-1981 quand Météosat n'a pas fonctionné), les données quotidiennes de novembre à janvier ont été analysées (LEMOALLE, 1991). La discrimination entre eau et non-eau dans le domaine lacustre est basée sur le fait que la surface des eaux libres de la cuvette sud conserve une extension constante. Ces eaux étant plus turbides que celles qui percolent à travers les marécages, tout élément d'image de luminance inférieure ou égale à celle des eaux libres est classé en eau. Par ailleurs, le déroulement progressif de l'inondation d'un jour à l'autre est une vérification de la classification ainsi réalisée.

Pour la période 1988-1989, qui correspond à un apport par le Chari de 28,4 kilomètres cubes par an, le plus important depuis 1979, les images obtenues indiquent un déversement vers Baga Kawa déjà commencé le 14 novembre, qui se termine fin janvier 1989 par une inondation presque complète de la cuvette. Au cours de cette période, l'eau a progressé en décembre, vers le nord à la vitesse moyenne de 1,8 kilomètre par jour (fig. 4).

Une étude sur les dix-sept années indique que les déversements vers le nord sont fonction du module annuel du Chari :

- module annuel < 15 kilomètres cubes : pas d'inondation de la cuvette nord ;
- module annuel autour de 18 kilomètres cubes : inondation possible jusqu'à la latitude de Boso ;
- module annuel > 28 kilomètres cubes : inondation de toute la cuvette.

Il est ainsi possible, en observant le pic de crue du Chari à N'Djamena, fin octobre, de prévoir l'étendue de l'inondation de la cuvette nord en janvier.

Avec un module du Chari de l'ordre de 21 kilomètres cubes en 1994-1995, l'inondation de janvier 1995 est conforme aux prévisions (fig. 5). Au début de novembre 1994, les plaines d'inondation du Nord Cameroun, et de la région entre Chari et Logone, sont bien visibles par le satellite Météosat. Au 15 février 1995, les plaines sont largement asséchées et la crue lacustre a atteint son maximum d'extension dans la cuvette nord. Rappelons que les surfaces en eau libre, telles que cartographiées ici, ne correspondent qu'à une partie des surfaces totales inondées, surtout dans la cuvette sud.

Conclusion

Les satellites d'observation de la terre peuvent apporter des informations utiles à la connaissance des eaux superficielles du Bassin du Lac Tchad. La variété des satellites en opération permet de répondre à beaucoup de questions, et souvent en temps réel. Il est cependant nécessaire de calibrer convenablement les données et de les confronter à des données de terrain pour les interpréter convenablement. Cela n'a pas toujours été fait dans le passé.

Déjà, les satellites munis de capteurs actifs (ERS, TOPEX/POSEIDON) permettent de suivre avec une très bonne précision les niveaux du Lac, et la propagation de la crue dans les marécages (BIRKETT, 1995).

The northern basin during "Little Chad" (1975-1995)

Following its first complete drying out in October 1975 the northern basin has received water from time to time from the southern basin across the Grande Barrière. The amount of water arriving directly from rainfall or from the Komadougou Yobé are negligible. When flooding does take place it starts in December and reaches a maximum in January.

Data available from the visible channel of METEOSAT were used to follow the flooded area of the northern basin (CITEAU *et al.*, 1988). Daily data for November to January were analyzed for 1978 to 1995 except for 1980 and 1981 when the satellite was not working (LEMOALLE, 1991). Discrimination between water and non-water areas in the lake is based on the fact that open water areas in the southern basin remain constant. As these waters are more turbid than that percolating through the swamps all the image elements with a reflectance equal to or less than the open water is classed as water. The daily progression of the flood is a verification of the classification thus effected.

In 1988/1989 when the inflow from the Chari was equal to 28.4 km³/year and was the greatest since 1979, the images showed flow towards Baga Kawa had already started by 14 November 1988 and finished at the end of January 1989 with the almost total submersion of the northern basin. Water moved northwards during this period at an average speed of 1.8 km/day (figure 4).

Data from 17 years of study show that flow towards the north is a function of the annual discharge of the Chari :

- inflow < 15 km³ = no flooding in the northern basin;
- inflow about 18 km³ = possible flooding to the latitude of Boso; and
- inflow > 28 km³ = flooding of the whole basin.

It is thus possible to predict the area that will be flooded in January from the peak flow of the Chari at N'Djamena at the end of October.

The lake area in January 1995 was what was expected from the 21 km³ discharge of the Chari for the year 1994/1995. At the beginning of November 1994 the flood plains of northern Cameroon and of the region between the Chari and the Logone can be clearly seen on the METEOSAT image. By 15 February 1995 these areas were mainly dry and the water had reached its maximum extent in the northern basin. It needs to be remembered however that the mapped area of free water represents only a proportion of the total area under water, especially in the southern basin.

Conclusions

Satellite data are a very useful source of information for determining the flooded area of Lake Chad. The several satellites available can be used in different ways and often provide real time information. The data must be calibrated however and used in conjunction with ground truthing, which has not always been done in the past.

Satellites fitted with active data capture equipment such as ERS and TOPEX/POSEIDON already allow changes in lake level and in water flow to be identified with a high level of precision (BIRKETT, 1995).

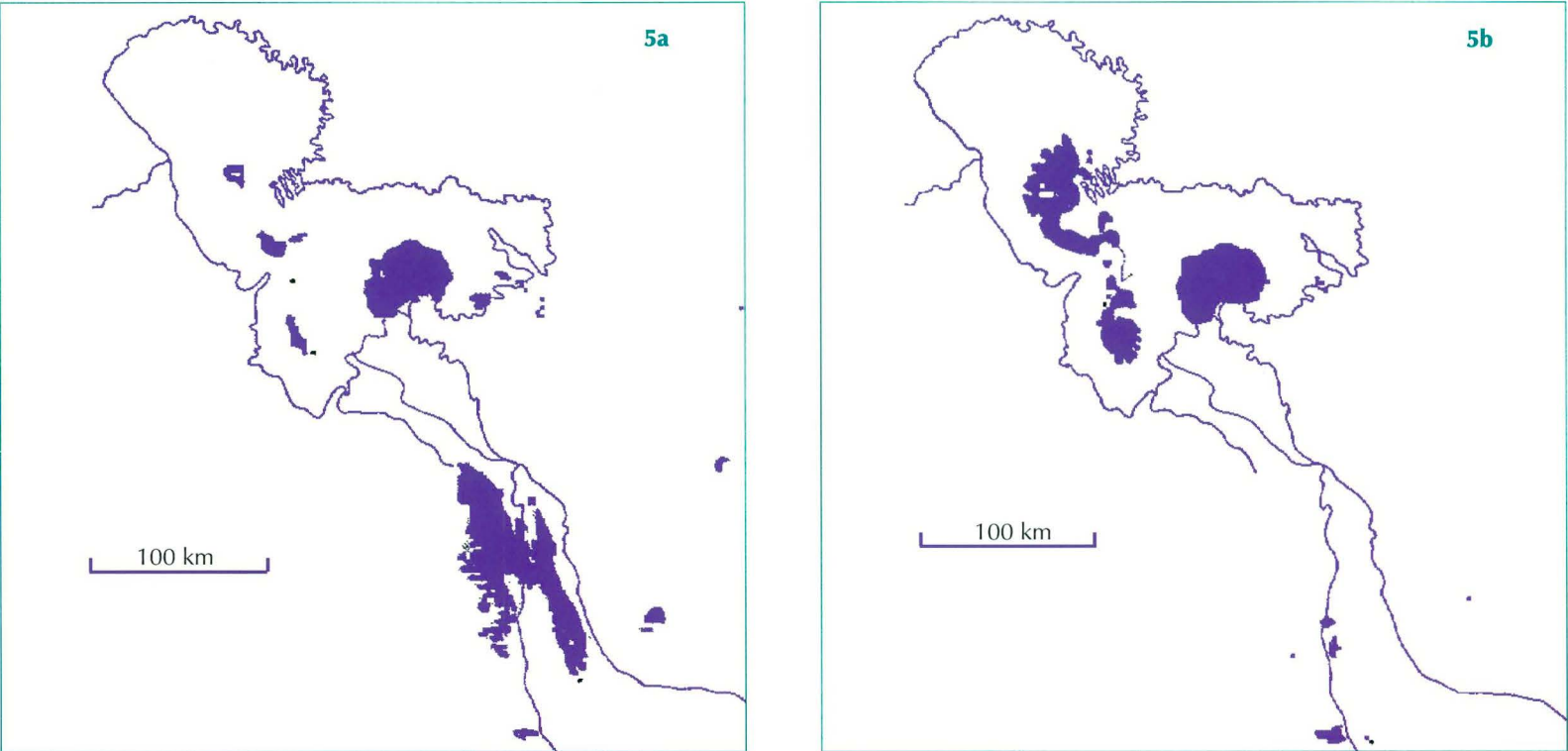
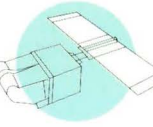


Figure 5a : Analyse de données Météosat en 1994-1995. Les eaux libres sont figurées en noir. Le 9 novembre, les plaines d’inondation du Nord-Cameroun et entre Chari et Logone sont bien visibles.

Figure 5b : Le 15 février, peu de temps après le pic de crue dans la cuvette sud, on note la zone d’eau libre au sud de Baga Kawa, et l’inondation de la cuvette nord jusqu’à la latitude de Boso.

Figure 5a : Analysis of METEOSAT data for 1994/1995 (open water is represented by black areas; the flood plains of northern Cameroon and those between the Chari and the Logone are clearly visible on 9 November 1994;.

Figure 5b : A short time after maximum flood on 15 February 1995 there is an area of open water to the south of Baga Kawa and the northern basin is flooded as far north as the latitude of Boso).

Bibliographie

AFRICA O.E., 1994. Report on training and investigations on the use of NOAA data over Lake Chad (report 0797). Lake Chad Basin Commission : N'Djamena, Chad (mimeo).

BIRKETT C.M., 1995. An assessment of the performance of the TOPEX/POSEIDON radar altimeters in monitoring the changing levels of climatically sensitive lakes. J. Geophys. Res. In press.

CHOURET A and LEMOALLE J., 1975. Evolution hydrologique du Lac Tchad (juillet 1974-octobre 1975). ORSTOM, N'Djaména, Tchad (mimeo).

CITEAU J., DEMARQ H., MAHÉ G. et FRANC J., 1989. Une nouvelle station est née. Veille climatique satellitaire, 25: 23-29.

LEMOALLE J., 1978. Application des images LANDSAT à la courbe bathymétrique du Lac Tchad. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrobiol. 12: 83-87.

LEMOALLE J., 1991. Eléments d’hydrologie du Lac Tchad au cours d’une période de sécheresse (1973-1989) (rapport sur les pêches n° 445). Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

MOHLER R.R., HELFERT M.R. and GIARDINO I.R., 1989. The decrease of Lake Chad as documented during twenty years of manned space flight. Geocarto International, 1: 75-79.

RIGAL D., 1989. Crue et décrue au Lac Tchad. Veille climatique satellitaire, 28: 71-76.

SCHNEIDER S.R., MCGINNES D.F. and STEPHENS G., 1985. Monitoring Africa’s Lake Chad basin with LANDSAT and NOAA satellite data. Int. J. Remote sensing, 6: 59-73.

WALD L., 1990. Monitoring the decrease of Lake Chad from space. Geocarto International, 3: 31- 36.